

KRITISI DESAIN PSEUDO ELASTIS PADA BANGUNAN BERATURAN 6- DAN 10-LANTAI DENGAN DENAH PERSEGI DI WILAYAH 2 PETA GEMPA INDONESIA

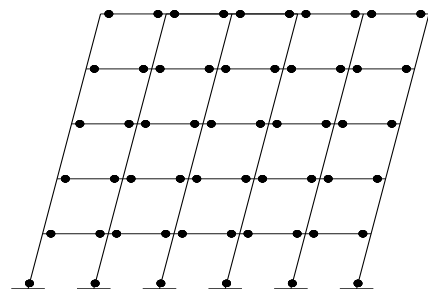
Yosepha Puteri T.¹, Yulietta D. W.², Ima Muljati G.³, Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK: Salah satu metode perencanaan struktur di daerah gempa adalah *Pseudo Elastis*. Struktur yang didesain dengan *Pseudo Elastis* harus menghasilkan pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism*. Dalam pola ini, seluruh kolom diasumsikan menerima gaya geser dasar yang sama hingga terjadi sendi plastis pada kolom plastis. Setelah itu, kelebihan gaya geser yang terjadi akan dipikul oleh kolom elastis. Oleh karena itu, kolom elastis harus didesain lebih kuat daripada kolom plastis dengan memberi suatu Faktor Pengali (FP). Penelitian ini bertujuan mengkritisi apakah asumsi-asumsi tersebut sudah benar dan apakah mekanisme yang diharapkan dapat tercapai. Objek yang ditinjau berupa dua buah bangunan dengan struktur beton bertulang 6- dan 10-lantai di wilayah 2 peta gempa Indonesia. Masing-masing gedung memiliki 7 bentang pada arah-x dan -y, yang setiap bentangnya memiliki panjang 8 meter. Pada penelitian ini digunakan kriteria desain berupa konfigurasi kolom perimeter sebagai kolom elastis, dimensi kolom plastis dan elastis dibuat seragam, dan tidak menggunakan rasio tulangan minimum. Untuk mengevaluasi kinerja struktur, digunakan analisis dinamis *Time History non-linear* dengan gempa periode ulang 500 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asumsi yang digunakan dalam metode *Pseudo Elastis* kurang tepat.

KATA KUNCI: *pseudoelastis, partial side sway mechanism, faktor pengali, gaya geser dasar*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 (Departemen Pekerjaan Umum, 2002), bangunan harus didesain agar mencapai pola keruntuhan *Side Sway Mechanism*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**, yaitu bangunan hanya boleh mengalami sendi plastis pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom lantai dasar. Untuk mencapai pola keruntuhan ini, kapasitas kolom harus didesain lebih kuat dari kapasitas balok, atau biasa disebut dengan *strong column weak beam*. Oleh karena itu, perencanaan kolom baru dapat dimulai setelah perencanaan balok selesai. Hal ini menyebabkan prosedur menjadi lebih panjang dan waktu yang dibutuhkan untuk mendesain menjadi lebih lama.



Gambar 1. *Side Sway Mechanism*

Paulay (1995) mengusulkan suatu pola keruntuhan lain dengan pola keruntuhan yang tetap aman, yaitu *Partial Side Sway Mechanism*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada pola keruntuhan ini, sendi plastis diperbolehkan terjadi pada balok dan kolom interior, sementara kolom eksterior harus tetap berperilaku elastis. Sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung kolom terbawah saja. Mekanisme ini

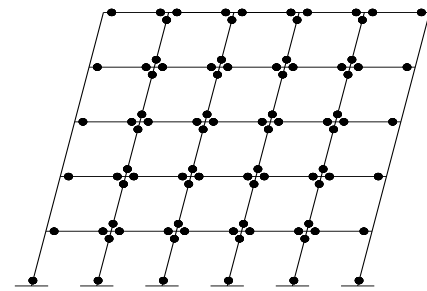
¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, fafa.tjahjono@gmail.com.

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, xiang_mei91@hotmail.com.

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, imuljati@peter.petra.ac.id.

⁴Professor Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@peter.petra.ac.id.

digunakan dalam desain *Pseudo Elastis* yang memberikan Faktor Pengali (FP) pada kolom eksterior untuk menjamin agar kolom tetap elastis. Keuntungan dari desain *Pseudo Elastis* adalah dapat menghemat waktu perencanaan karena perencanaan kolom dan balok dapat dilakukan bersamaan. Perencanaan kolom dapat dilakukan tanpa harus menunggu perencanaan desain balok.



Gambar 2. Partial Side Sway Mechanism

Dalam metode *Pseudo Elastis*, seluruh kolom diasumsikan menerima beban gempa berupa gaya geser yang sama hingga terjadi sendi plastis pada kolom-kolom yang diijinkan mengalami sendi plastis (kolom plastis). Setelah itu, kelebihan gaya geser yang terjadi karena adanya sendi plastis tersebut akan dipikul oleh kolom-kolom yang tidak diijinkan mengalami sendi plastis (kolom elastis). Oleh karena itu, kolom-kolom elastis harus didesain lebih kuat daripada kolom-kolom plastis. Hal ini dapat dilakukan dengan memberi FP pada kombinasi beban, khususnya pada beban gempa, yang diterima oleh kolom elastis. Jika kolom-kolom plastis sudah mengalami sendi plastis dan kelebihan gaya geser diterima oleh kolom-kolom elastis, maka pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* sudah terpenuhi.

Penelitian ini bertujuan mengkritisi apakah asumsi yang digunakan dalam metode *Pseudo Elastis*, yaitu adanya distribusi gaya geser dari kolom plastis ke kolom elastis setelah terjadi plastifikasi, sudah benar, dan apakah pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* yang diharapkan dapat tercapai.

2. FAKTOR PENGALI

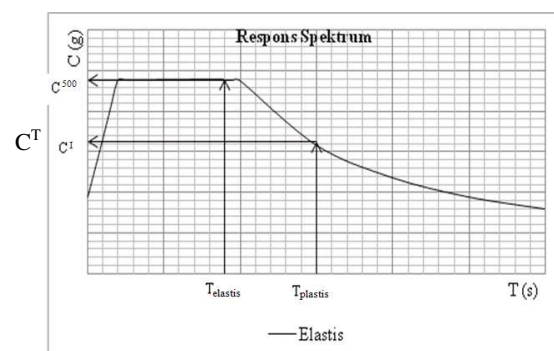
Untuk memastikan bahwa kolom elastis tidak mengalami sendi plastis ketika terjadi gempa target, kolom elastis didesain dengan memberi FP pada kombinasi bebannya. Pada penelitian ini, rumusan FP yang dipakai adalah rumusan hasil penelitian Muljati dan Lumantarna (2008) yang telah divalidasi oleh Buntorodan Weliyanto (2009) serta Atmadjadan Wijoyo (2009), seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 1**:

$$FP = \frac{\frac{C^T}{C^{500th}} \times \mu - f_1 \times n_{int} \times R_{int}}{n_{eks} \times R_{eks}} \quad (1)$$

dimana C^T adalah koefisien gempa target; C^{500th} adalah koefisien gempa dengan periode ulang 500 tahun; μ adalah nilai faktor daktilitas struktur gedung; f_1 adalah *overstrength factor* sebesar 1,6 yang berasal dari perkalian faktor kuat bahan sebesar 1,28 dan faktor lebih bahan sebesar 1,25 sesuai SNI 03-1726-2002; n_{eks} adalah jumlah kolom eksterior; n_{int} adalah jumlah kolom interior; R_{eks} adalah ratio antara gaya geser dasar pada kolom eksterior dengan gaya geser dasar total akibat gempa nominal; dan R_{int} adalah ratio antara gaya geser dasar pada kolom interior dengan gaya geser dasar total akibat gempa nominal.

Besarnya C^{500th} dapat langsung ditentukan dari $T_{elastis}$ bangunan (periode bangunan saat masih elastis), sedangkan besarnya C^T ditentukan dari rumusan $T_{plastis}$ (periode bangunan setelah mengalami plastifikasi) hasil penelitian Buntoro dan Weliyanto (2009) serta Atmadja dan Wijoyo (2009). Rumusan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 2:

$$T_{plastis} = 2,967 T_{elastis} + 0,313 \quad (2)$$



Gambar 3. Cara Mendapatkan C^T dan C^{500th}

Setelah mendapatkan $T_{plastis}$, besarnya C^T dapat dicari dengan menggunakan respons spektrum elastis SNI 03-1726-2002 (Departemen Pekerjaan Umum, 2002), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Penggunaan respons spektrum elastis dalam menentukan besarnya C^T disebabkan grafik respons spektrum *non-linear* tidak dapat ditentukan dengan mudah.

3. DESAIN STRUKTUR

Pada penelitian ini, bangunan yang digunakan adalah bangunan beraturan 6- dan 10-lantai yang masing-masing terdiri dari 7 bentang arah-x dan -y. Panjang setiap bentang 8 meter dan tinggi antar lantai 3,5 meter. Denah tipikal struktur bangunan dapat dilihat pada **Gambar 4**. Kolom berwarna hitam menunjukkan kolom elastis, dan kolom berwarna putih menunjukkan kolom plastis.

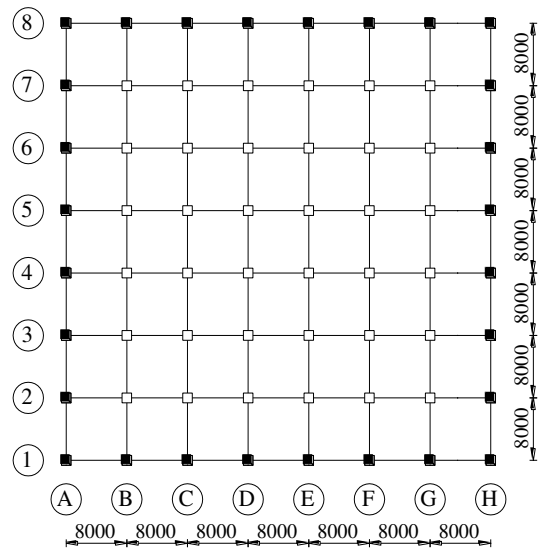
Struktur bangunan tersebut merupakan bangunan perkantoran yang terletak di wilayah 2 peta gempa Indonesia menurut SNI 03-1726-2002 (Departemen Pekerjaan Umum, 2002) dengan kondisi tanah di bawah bangunan adalah tanah lunak. Perencanaan dilakukan dengan asumsi kolom-kolomnya terjepit pada pondasi. Perencanaan balok dan kolom plastis didasarkan pada kombinasi beban yang terjadi, sementara perencanaan kolom elastis dilakukan dengan prosedur perencanaan *Pseudo Elastis*. Dalam perencanaan kolom digunakan tiga kriteria desain, yaitu:

1. Konfigurasi kolom perimeter sebagai kolom elastis, karena penelitian-penelitian sebelumnya selalu menggunakan konfigurasi ini, sehingga diharapkan penelitian ini dapat sejalan dengan penelitian sebelumnya.
2. Dimensi kolom plastis dan elastis dibuat seragam dalam satu lantai, supaya distribusi gaya geser dapat diinterpretasikan dengan lebih mudah.
3. Tidak menggunakan rasio tulangan minimum, agar *overstrength* yang terjadi tidak terlalu besar.

Untuk menentukan dimensi balok dan kolom yang digunakan, dilakukanlah *preliminary design* dengan serangkaian *trial and error* hingga didapat suatu desain yang memenuhi kriteria desain yang telah ditetapkan. Dimensi balok dan kolom yang dipakai pada bangunan yang ditinjau serta data-data strukturnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pemodelan struktur akibat beban mati, beban hidup, dan beban gempa dilakukan dengan bantuan program ETABS v9.6 (Computer and Structures, Inc., 2009). Struktur diuji secara tiga dimensi menggunakan analisis dinamis *Time History non-linear* dengan bantuan

program SAP2000 v.11 (Computer and Structures, Inc., 2001). Data *hinge properties* yang diperlukan untuk balok dan kolom didapat dengan bantuan program CUMBIA (Montejo, 2007). Gempa yang digunakan sebagai gempa target adalah gempa periode ulang 500 tahun. Rekaman gempa yang digunakan adalah gempa El Centro 18 Mei 1940 komponen *North-South* yang dimodifikasi



Gambar 4. Denah Struktur Bangunan

Tabel 1. Data Dimensi dan Struktur

Bangunan	Lantai	Dimensi Kolom (mm)	Data-data Lain
Gedung 6-Lantai	1 – 2	550 x 550	Dimensi balok induk = 300 x 700 mm Dimensi balok anak = 300 x 500 mm Tebal plat lantai = 120 mm Mutu beton (f_c') = 30 Mpa Mutu tul. longitudinal (f_y) = 400 Mpa Mutu tul. geser balok (f_y) = 240 Mpa Mutu tul. geser kolom (f_y) = 400 Mpa
	3 – 4	500 x 500	
	5 – 6	450 x 450	
Gedung 10-Lantai	1	650 x 650	
	2	600 x 600	
	3-5	550 x 550	
	6-7	500 x 500	
	8-10	450 x 450	

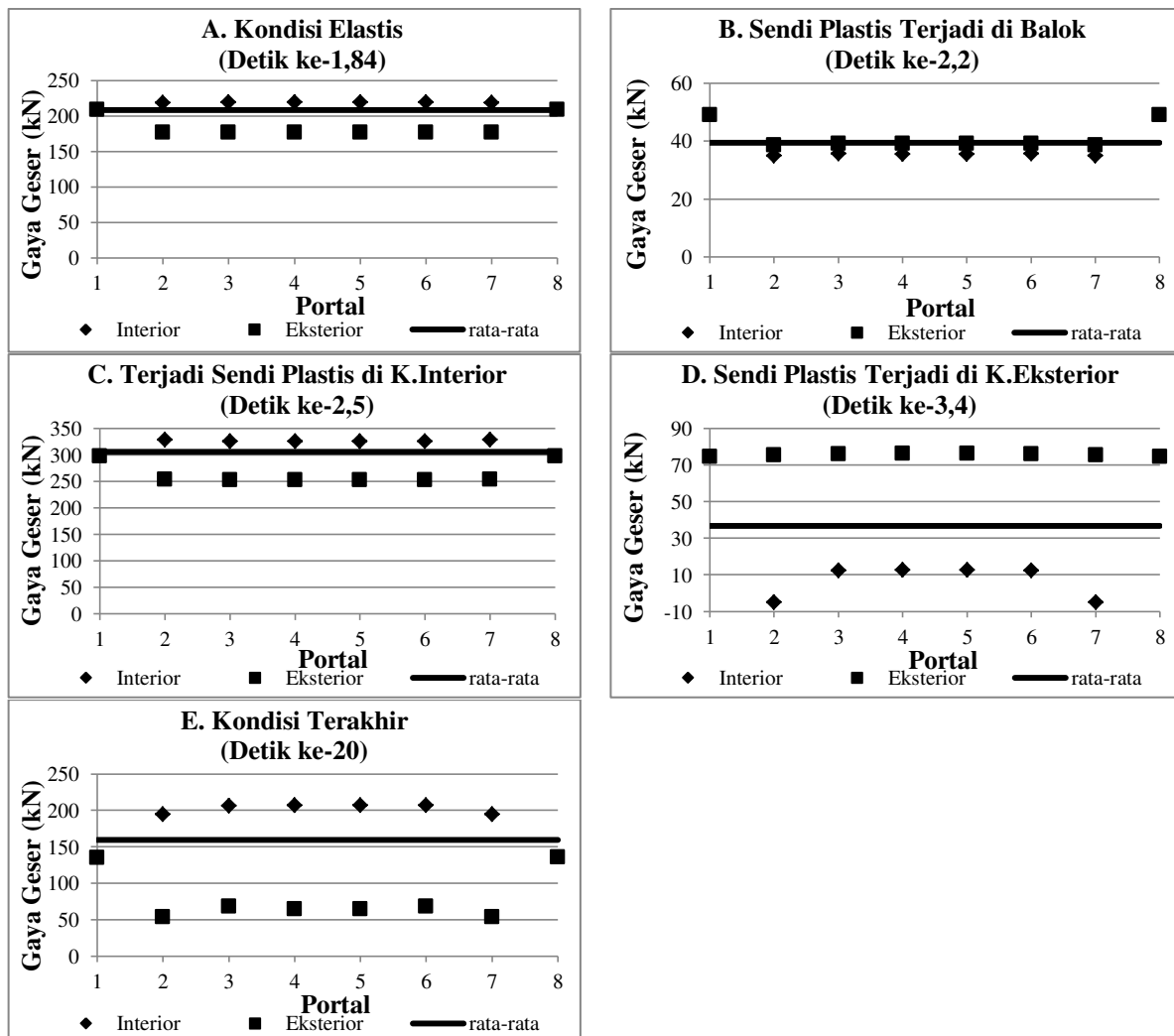
menggunakan program SeismoMatch v2.0.0 (Seismosoft, Ltd., 2012) agar menghasilkan respons spektrum yang sesuai untuk wilayah 2. Pembebanan gempa dilakukan untuk arah x saja karena denah bangunan yang berbentuk simetris.

4. PENGUJIAN ASUMSI GAYA GESER DASAR PADA METODE PSEUDO ELASTIS

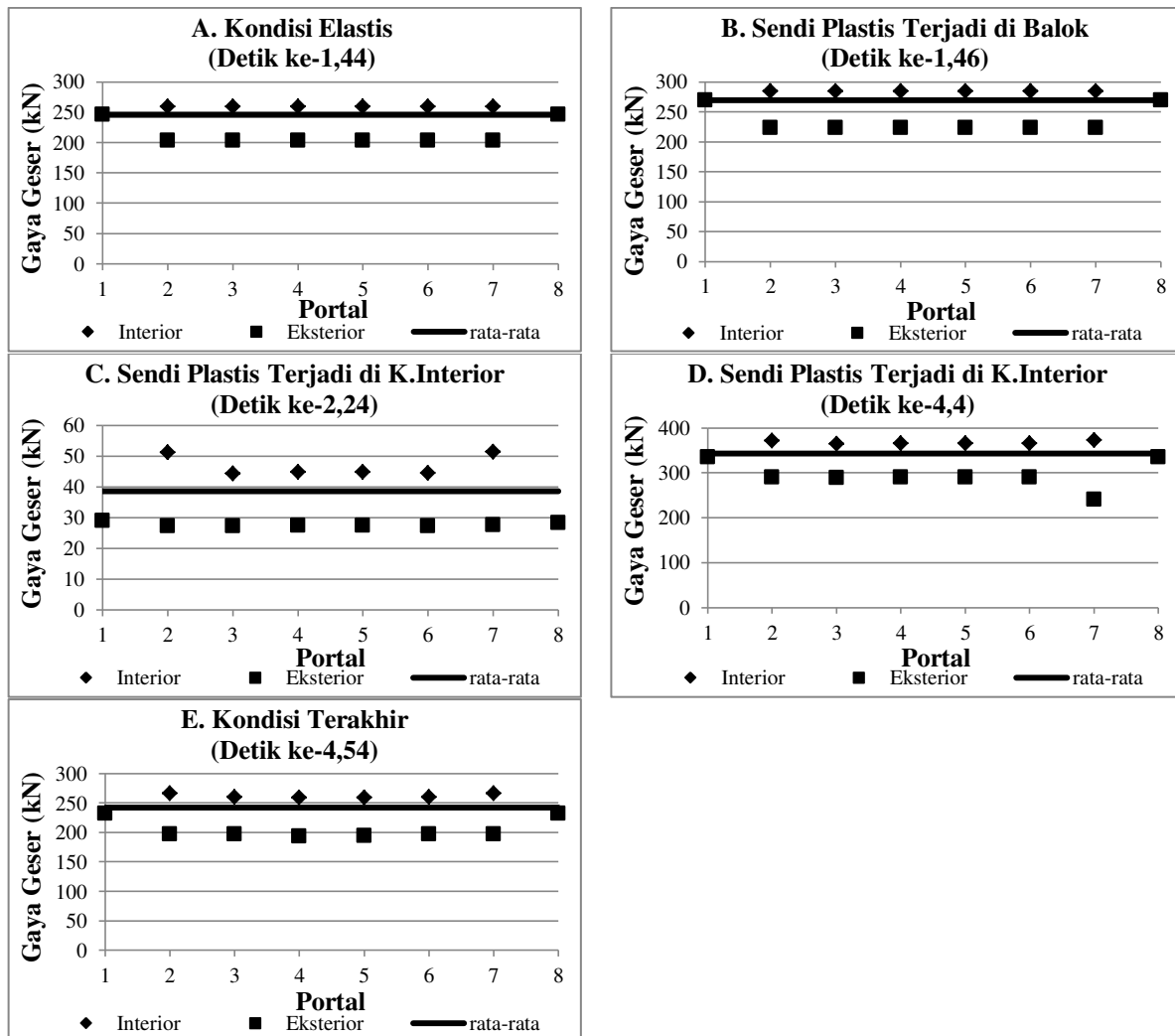
Untuk melakukan pengujian asumsi distribusi gaya geser dasar pada metode *Pseudo Elastis*, diambil gaya geser dasar bangunan yang diuji pada kondisi sebagai berikut.

1. Bangunan dalam kondisi elastis.
2. Sendi plastis terjadi pada balok saja.
3. Terjadi sendi plastis pada kolom interior.
4. Terjadi sendi plastis pada kolom eksterior.
5. Kondisi terakhir bangunan: detik terakhir analisis *Time History* atau sebelum bangunan runtuh.

Untuk memudahkan dalam membandingkan distribusi gaya geser yang terjadi pada kondisi-kondisi yang diuji tersebut, dibuat suatu grafik dimana nilai didapatkan dari rata-rata gaya geser kolom interior dan eksterior pada suatu portal. Grafik perubahan distribusi gaya geser pada gedung 6- dan 10-lantai untuk setiap kondisi dapat dilihat pada **Gambar 5 dan 6** berikut ini.



Gambar 5. Distribusi Gaya Geser Gedung 6-Lantai pada Kondisi-kondisi Tertentu



Gambar 6. Distribusi Gaya Geser Gedung 10-Lantai pada Kondisi-kondisi Tertentu

Dari Gambar 5A dan 6A di atas dapat dilihat bahwa pada saat gedung 6-lantai dan 10-lantai dalam kondisi elastis, distribusi gaya geser dasar yang terjadi sudah tidak sesuai dengan asumsi konsep *Pseudo* Elastis. Gaya geser dasar lebih banyak terdistribusi ke kolom interior daripada ke kolom eksterior. Setelah balok mengalami plastifikasi, gaya geser dasar pada gedung 6-lantai, yang ditunjukkan pada Gambar 5B, lebih banyak terdistribusi ke kolom eksterior, sementara pada gedung 10-lantai, yang ditunjukkan pada Gambar 6B, lebih banyak terdistribusi ke kolom interior.

Asumsi distribusi gaya geser dasar pada konsep *Pseudo* Elastis ketika telah terbentuk sendi plastis pada kolom interior juga tidak sesuai. Baik pada gedung 6- maupun 10-lantai, gaya geser dasar yang seharusnya terdistribusi ke kolom eksterior justru terdistribusi ke kolom interior, seperti dapat dilihat pada Gambar 5C dan 6C. Setelah itu, distribusi gaya geser terus berubah-ubah hingga detik terakhir pengujian. Pada suatu waktu, gaya geser dasar terdistribusi ke kolom eksterior, seperti dapat dilihat pada Gambar 5D. Sedangkan pada waktu lain, gaya geser dasar terdistribusi ke kolom interior, seperti dapat dilihat pada Gambar 5E, 6D, dan 6E. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi yang digunakan dalam konsep *Pseudo* Elastis, yaitu adanya distribusi gaya geser dasar dari kolom interior ke kolom eksterior setelah terjadinya plastifikasi pada kolom interior, ternyata tidak selalu benar.

Baik pada gedung 6-lantai dan 10-lantai juga tidak memenuhi pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* yang diharapkan. Pada gedung 6 lantai, terjadi *soft story mechanism* pada lantai 3.

Sedangkan pada gedung 10-lantai, ada beberapa kolom interior pada lantai 8 yang mengalami plastifikasi hingga mencapai kondisi *fraktur*, yang menyebabkan analisis *Time History* berhenti pada detik ke-4,54.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja bangunan beraturan 6- dan 10-lantai dengan denah persegi di wilayah 2 peta gempa Indonesia yang direncanakan secara *Pseudo Elastis*, secara umum dapat ditarik kesimpulan yaitu: asumsi yang digunakan dalam konsep *Pseudo Elastis*, yaitu adanya distribusi gaya geser dari kolom interior ke kolom eksterior setelah terjadi plastifikasi, ternyata kurang tepat. Pola keruntuhan *Partial Side Sway Mechanism* juga tidak tercapai. Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan ulang pada rumusan Faktor Pengali.

6. DAFTAR REFERENSI

- Atmadja, K.G. dan Wijoyo, B. (2009). *Evaluasi Kinerja Bangunan dengan Metode Pseudo Elastis pada Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Buntoro, I.Y. dan Weliyanto, A. (2009). *Evaluasi Kinerja Bangunan dengan Metode Pseudo Elastis pada Wilayah 2 Peta Gempa Indonesia*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Computer and Structures, Inc. (2001). *SAP2000 Version 11, Structures Analysis Program*, Computer and Structures, Inc., Berkeley.
- Computer and Structures, Inc. (2009). *ETABS v9.6, Extended Three Dimensional Analysis of Building System*, Computer and Structures, Inc., Berkeley.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *SNI-03-1726-2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Montejo, L. A. (2007). *CUMBIA*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North Carolina State University, North Carolina.
- Muljati, I. dan Lumantarna, B. (2008). "Performance of Partial Capacity Design on Fully Ductile Moment Resisting Frame in Highly Seismic Area in Indonesia." *Building a Sustainable Environment*. Proceedings of Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-11), Taipei, Taiwan, November 19 – 21, 2008.
- Paulay, T. (1995). "Special Issues in Seismic Design." *Structural Engineering International*, Vol. 5, No.3: 160–165.
- Seismosoft, Ltd. (2012). *SeismoMatch v5.2.2*. Seismosoft, Ltd., Pavia.